

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-232196

(43)Date of publication of application : 02.09.1998

(51)Int.Cl.

G01N 15/14  
G01N 15/06  
G01N 21/88  
H01L 21/66

(21)Application number : 09-130985

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 21.05.1997

(72)Inventor : ITO NATSUKO  
UESUGI FUMIHIKO

(30)Priority

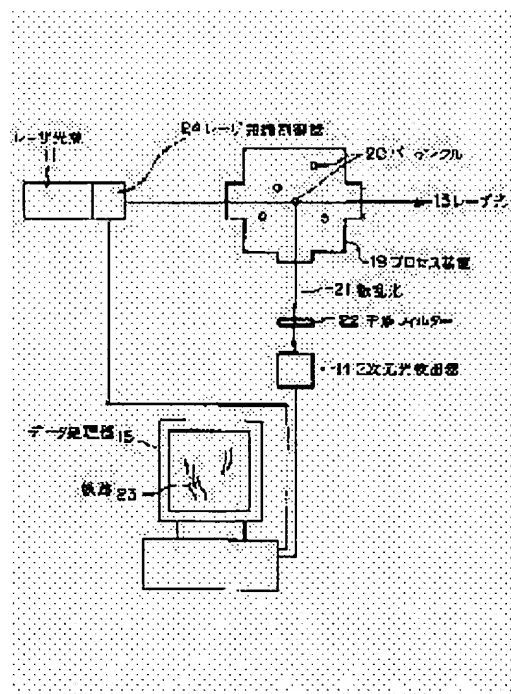
Priority number : 08335962 Priority date : 16.12.1996 Priority country : JP

## (54) PARTICLE MONITOR DEVICE

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide the particle monitor device, which can readily estimate the generating point, the reaching point and the mass of a particle, can correct the changing amount of the scattered light caused by a distance for estimating the magnitude of the particle, can expand the region, wherein the relay scattering expression that can achieve correspondence with simple numerical computation can be applied, and can estimate the magnitude accurately by estimating the shape of the particle.

SOLUTION: The following means are provided. In the first means, when the signal strength from a light receiving device 14 for measuring scattered light exceeds the specified value, the scattered-light accepting time of the light receiving device 14 is made long, or the pulse-repetition frequency of laser light is made large, or the pulse width of the laser light 13 is made long and the movement of a particle 20 is displayed as the locus of the scattered light. In the second



means, the straight line connecting the starting point and the end point of the locus is overlapped on the locus and displayed, the generating point of the particle is estimated by extending the straight line exceeding the starting point, the reaching point of the particle is estimated by extending the straight line exceeding the end point and the mass of the particle is estimated by dividing the length of the projected image of the straight line in the vertical direction by the scattered-light accepting time.

---

## LEGAL STATUS

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

### [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] It is related with the particle monitoring device which measures the particle which grows [ occurs and ] and falls in the particle which exfoliates from a process unit, or a process on in-situ (spot) and real time with light scattering measurement.

[0002]

[Description of the Prior Art] The particle generated within a process unit in the manufacturing process of LSI is the big cause of reducing the operating ratio of the yield or equipment. In order to prevent these reduction beforehand, the equipment which acts as the monitor of the generating condition of particle is developed.

[0003] These things consist of a laser light source and a photodetector, and there is a thing of the type inserted in the exhaust air system of a process unit or the type which attracts the ambient atmosphere of a process unit. All carry out counting of the reinforcement and occurrences of the scattered light which are generated whenever it passes the inside of the space where a laser beam beam exists the sampled measured fluid and particle passes. That by which JP,4-297852,A, JP,3-116944,A, JP,63-11838,A, JP,62-37160,A, JP,5-206235,A, JP,5-206236,A, JP,7-12707,A, and JP,5-288669,A were indicated as the conventional example can be mentioned.

[0004] By the method of measuring the particle in these sampled measured fluids, there is a problem of being hard to take correlation with the yield of particle, and the yield and an equipment operating ratio. In order to solve this, the attempt which measures the particle which occurs and floats within equipment on in-situ (spot) and real time is performed.

[0005] This records the laser beam scattered about by installation and particle in the aperture for measuring the aperture and the scattered light for introducing a laser beam into a process unit on a video tape with a CCD camera, reproduces it, gets to know the generating time of day of the scattered light, and a change on the strength, and gets to know generating of particle from the result.

[0006] as these conventional examples -- a cel bottle (Gary S.Selwyn) -- journal OBU Vacuum Science and -- the Bth of a technology magazine -- the paper indicated by 3492 pages from 3487 pages of nine volumes (1991), and journal OBU Vacuum Science and -- the Ath of a technology magazine -- there is a paper indicated by 654 pages from 649 pages of 14 volumes (1996). furthermore, applied one by Watanabe and others FIJKUSU The paper indicated by 1512 pages from 1510 pages [ of Letters (Applied Physics Letters) ] of the 61st volume (1992), and journal by Shiratani and others OBU Vacuum Science and -- the Ath of a technology magazine -- there is a paper indicated by 607 pages from 603 pages of 14 volumes (1996).

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The Prior art mentioned above has the following troubles.

[0008] They are \*\* BE \*\*\*\*\* about the method of measuring the particle in the sampled measured fluid in what was indicated by JP,4-297852,A taken up as a conventional example, JP,3-116944,A, JP,63-11838,A, JP,62-37160,A, JP,5-206235,A, JP,5-206236,A, JP,7-12707,A, and JP,5-288669,A. This method is difficult to pinpoint the source location of particle, in order to measure the scattered light after performing actuation of a sampling. Therefore, there is a problem of being hard to take correlation with the yield of particle, and the yield and an equipment operating ratio, and the source of release of particle cannot be specified.

[0009] moreover, a cel bottle (Gary S.Selwyn) -- journal OBUBAKYUMU Science and -- the Bth of a technology magazine -- the paper indicated by 3492 pages from 3487 pages of nine volumes (1991) -- moreover, journal OBU Vacuum Science and -- the Ath of a technology magazine -- the paper indicated by 654 pages from 649 pages of 14 volumes (1996) -- And applied FIJKUSU by Watanabe and others The paper indicated by 1512 pages from 1510 pages [ of Letters (Applied Physics Letters) ] of the 61st volume (1992), and journal by Shiratani and others OBU Vacuum Science and -- the Ath of a

technology magazine -- in the paper indicated by 607 pages from 603 pages of 14 volumes (1996) The particle which is floating within a process unit is detected with laser light scattering measurement, and the spatial distribution of particle and its time amount change are measured. However, if a defect is caused for whether the particle currently observed carries out induction of the defect to a wafer, it is difficult to know in what kind of path the particle will occur where and will reach a wafer. Therefore, it was coped with by repeating cleaning of equipment as the source location was not able to be pinpointed and the amelioration portion or components of equipment were not able to be decided, even if the particle which causes a poor pattern in a product wafer occurred. That is, the indicator which suppresses generating of particle could not be acquired and decline in the operating ratio by cleaning, starting time amount, etc. of equipment has not been improved.

[0010] Moreover, in measurement of the spatial distribution of particle, a laser beam is scanned spatially, or breadth is given spatially, and the method of detecting the particle which exists in a laser light source is used. In this case, the distance to each source location and detector of the scattered light differs, and the scattered-light reinforcement which reaches a detector is in inverse proportion to the square of the distance from the source location of the scattered light to a detector. That is, in order to presume the magnitude of particle from the reinforcement of the scattered light, it is necessary to amend a changed part of the scattered-light reinforcement by distance. However, such [ until now ] amendment was not performed.

[0011] Furthermore, in order to have presumed the magnitude of particle from the reinforcement of the scattered light, it was calculated, having assumed the configuration to be a true ball. However, it is known that the particle actually generated in an LSI manufacturing process has much the shape of a thin film integrated circuit or a needle. In the particle of such a configuration, scattered-light reinforcement changes with the spatial locations to the laser beam which carried out incidence a lot. Therefore, the error was large, concerning the particle size of particle, particle size distribution, and number density by the presumed method of the magnitude of old particle.

[0012] Moreover, in spatial distribution measurement of the particle using the conventional light scattering measurement, change of the polarization condition of the light which introduced the light in the polarization condition of a certain request in the process unit, and was scattered on the particle which is floating was measured. The wavelength from the laser light source to be used is one kind. If scattered-light reinforcement is predicted and it becomes large with the Rayleigh-scattering cross section when the particle of the measuring object-ed is smaller than the wavelength of exposure light, the Mie-scattering cross section will be used. Although the Mie-scattering cross section gives a strict solution, the expression is complicated and it is difficult for numerical calculation to take time amount and to acquire the information about the particle size and number density of particle from the scattered-light on-the-strength measurement result in real time.

[0013] It is in offering the particle monitoring device which can amend a changed part of the scattered-light reinforcement by distance since the object of this invention can presume easily the generating point, the reaching point, and the mass of particle in view of the trouble of the above-mentioned conventional technology and the magnitude of particle is presumed, can expand the field which can apply the dispersion type of Rayleigh who can respond by simple numerical calculation, presumes the configuration of particle, and can presume the magnitude of particle to a precision.

[0014]

[Means for Solving the Problem] In a particle monitoring device which has a means by which a particle monitoring device of this invention introduces a laser beam into a process unit, and a means to measure the scattered light from particle If signal strength from an electric eye which measures the scattered light exceeds a predetermined value, will lengthen scattered-light incorporation time amount of an electric eye. Or enlarge pulse repetition frequency of a laser beam. Or a means to display a motion of particle as a locus of the scattered light by lengthening pulse width of a laser beam, Display in piles a straight line which connects the starting point and an end point of a locus on a locus, extend a straight line exceeding the starting point, and a generating point of particle is presumed. It has a means to extend a straight line across an end point, to presume a reaching point of particle, to \*\* length which projected a straight line

in the direction of a vertical by scattered-light incorporation time amount, and to presume mass of particle.

[0015] Moreover, it sets to a particle monitoring device which has a means to introduce a laser beam into a process unit, and a means to measure the scattered light from particle. A means to arrange a mirror before a laser light source, to make carry out the revolution reciprocating motion of the mirror within the limits of predetermined angle of rotation, and to scan between wafer surface absentminded for a laser beam to a flabellate form in the level surface or a vertical plane, A means by which the scattered light which transmits an angle of rotation of a mirror to a data-processing machine from a mirror roll control machine, and is obtained by angle of rotation goes into each element of an electric eye by 1 to 1 response, Distance from a center line which is the criteria location of a laser beam to an electric eye, and distance to an electric eye which extended a perpendicular taken down from a point generating [ scattered-light ] to a center line, You may have a means to convert all scattered-light reinforcement into reinforcement on a center line, with relational expression of distance from an intersection of a mirror and a perpendicular taken down from a point generating [ scattered-light ] to a center line to a mirror, and an angle of rotation of a mirror.

[0016] Moreover, it sets to a particle monitoring device which has a means to introduce a laser beam into a process unit, and a means to measure the scattered light from particle. By arranging a mirror before a laser light source and carrying out the parallel displacement of the mirror A means to scan between wafer surface absentminded for a laser beam on a sheet band-like in the level surface or a vertical plane, A means by which the scattered light which transmits a location of a mirror to a data-processing machine from a mirror straight-line migration controller, and is obtained in a location goes into each element of an electric eye by 1 to 1 response, With relational expression of distance from a center line which is the criteria location of a laser beam to an electric eye, distance to an electric eye which extended a perpendicular taken down from a point generating [ scattered-light ] to a center line, passing speed of a mirror, and transit time of a mirror when being based on a center line You may have a means to convert all scattered-light reinforcement into reinforcement on a center line.

[0017] Moreover, it sets to a particle monitoring device which has a means to introduce a laser beam into a process unit, and a means to measure the scattered light from particle. A means to presume magnitude, number density, or a refractive index of particle from scattered-light reinforcement, You may have a means to expand a means to compute a particle-size parameter decided by magnitude of particle, and wavelength of a laser beam, and a range which changes wavelength of a laser beam into long wavelength, and can apply Rayleigh's dispersion type if a particle-size parameter exceeds a predetermined value.

[0018] Moreover, it sets to a particle monitoring device which has a means to introduce a laser beam into a process unit, and a means to measure the scattered light from particle. Irradiate a laser beam in the shape of a pulse, and scattered-light incorporation time amount of an electric eye which measures the scattered light is considered as a part for a number - dozens pulses. A means to display the scattered light by falling particle as continuation of a locus or a point, It has a means to pursue a locus of the scattered light within predetermined time, to analyze time amount change of scattered-light reinforcement, or a ratio of maximum of scattered-light reinforcement, and the minimum value, and to presume a configuration of particle. When a means to presume a configuration of particle has a ratio of maximum of scattered-light on-the-strength time amount change or scattered-light reinforcement, and the minimum value smaller than a predetermined value A configuration of particle is presumed to be a globular form. When a ratio of maximum of scattered-light on-the-strength time amount change or scattered-light reinforcement and the minimum value is larger than a predetermined value When it presumes that a configuration of particle is disc-like and it is presumed that a configuration of particle is disc-like, you may have a means to presume thickness of a disc of the minimum scattered-light reinforcement to particle for area of a disc of particle, from the maximum scattered-light reinforcement.

[0019] That is, a particle monitoring device of this invention can presume a generating point, a reaching point, and mass of particle easily, since it presumes magnitude of particle, it can amend a changed part of scattered-light reinforcement by distance, it can expand a field which can apply a dispersion type of

Rayleigh who can respond by simple numerical calculation, presumes a configuration of particle, and can presume magnitude of particle to a precision.

[0020]

[Embodiment of the Invention] Next, the gestalt of operation of this invention is explained with reference to a drawing.

[0021] (Gestalt of operation of the 1st of this invention) In order to presume the reaching point to the source of release and wafer of exfoliation particle, it is inadequate just to measure the scattered light from the particle of a certain flash, and it is necessary to pursue the locus of the scattered light within a certain fixed time amount. What is necessary is to make low chopping frequency of CW laser (Continuous Wave laser, continuous wave laser), and just to acquire the two-dimensional distribution image of the scattered light, or it lengthens signal incorporation time amount of a scattered-light electric eye when the reinforcement of the scattered light by particle exceeds predetermined it in order to realize this, and it raises the repeat frequency of a pulse laser.

[0022] By using this means, the locus of the scattered light from the particle which is falling can be displayed on an image, and a source location and an attainment location can be presumed from the starting point and the end point of a locus. Furthermore, mass can be presumed by **\*\*(ing)** the length of a locus by measurement time amount width of face.

[0023] It is **\*\* BE \*\***, referring to drawing 1 about the case where the reaching point to the source of release and wafer of particle is presumed.

[0024] The laser light source 11 consists of an YAG laser and its 2nd higher-harmonic light generator. Dispatch frequency is 10Hz. A laser beam 13 is 532nm, operates the shape of beam orthopedically in the shape of a sheet within a vertical plane, and introduces it into a process unit 19 behind. Laser beams 13 are scattered on this interior by the particle 20 which is floating or falling. Through an interference filter 22, the scattered light 21 is the two-dimensional photodetector 14 which is a scattered-light electric eye, and is measured every 5s in 100ns of gate open time amount, and the spatial distribution is displayed on data **\*\*\*\*\*** 15.

[0025] When it judges whether the bigger scattered light than a certain fixed value decided beforehand is received with the two-dimensional photodetector 14 with the data-processing vessel 15 and it is judged that it is a big value, a motion of particle is acquired as a locus 23 of the scattered light by making gate open time amount long to 200ns for the scattered-light incorporation time amount in the two-dimensional photodetector 14. An equivalent effect can be acquired also by carrying out a measurement time interval for every s instead of lengthening gate open time amount.

[0026] Instead of changing gate open time amount and a measurement time interval, and lengthening scattered-light incorporation time amount, the laser oscillation controller 24 is operated and the same effect can be expected also by making repeat frequency of laser high to 1kHz from 10Hz, and increasing the count of generating of the scattered light. In the case of CW laser, the chopper which carries out chopping of the laser beam 13 as a laser oscillation controller 24 is used. The same effect is expectable also by lengthening time amount width of face of the pulsed light which made the rotational frequency of a chopper low, and chopping was carried out and was formed.

[0027] In this way, it becomes possible to display dispersion on the drop of the data-processing machine 15 as a locus 23. If the straight line which connects the starting point and the end point of this locus 23 is displayed on a locus 23 in piles and this straight line is made to extend exceeding the starting point, the source of release of particle can be presumed. On the contrary, if a straight line is extended across an end point, the reaching point of particle can be presumed. Furthermore, the mass of particle can be presumed if length which projected the straight line in the direction of a vertical is **\*\*(ed)** by scattered-light incorporation time amount.

[0028] Thus, by measuring the locus of the scattered light, the source of release and the reaching point of particle, and the mass of that can be presumed, and an amelioration indicator can be given to selection and the equipment configuration of the equipment material for reducing generating of particle.

[0029] (Gestalt of operation of the 2nd of this invention) The reinforcement of the scattered light reflects the magnitude of particle again. On the other hand, scattered-light reinforcement is in inverse proportion

to the square of the distance of scatterer and a measure point. That is, although the scattered light from the particle of the same magnitude generates the scattered light of the same reinforcement, the scattered-light reinforcement which will be measured if distance with a measure point differs will change.

Therefore, in order to presume the magnitude of particle from the two-dimensional image of scattered-light reinforcement, it is necessary to standardize scattered-light reinforcement in distance. How to realize this is explained using [drawing 2](#).

[0030] The laser light source 11 consists of an YAG laser and its 2nd higher-harmonic light generator. Oscillation frequency is 10kHz. A laser beam 13 is 532nm. A laser beam 13 is reflected by the mirror 12, and it introduces into the interior of a process unit 19. A mirror 12 is shaken at right and left of a center line 17. The maximum angle is 10 degrees. The revolution reciprocating motion of this mirror 12 is carried out within the limits of a certain angle of rotation, and if particle exists in the field to which the two-dimensional photodetector 14 which scans between wafer surface absentminded to a flabellate form in the level surface expects a laser beam 13, the spatial distribution of the scattered light by it will be acquired. When displaying the spatial distribution of the scattered light on the data-processing machine 15, scattered-light reinforcement is amended as follows. The angle of rotation  $\theta$  of a mirror 12 is transmitted to the data-processing machine 15 from the mirror roll control machine 16. In the scattered light obtained by an certain angle of rotation  $\theta$ , close comes to each element of the two-dimensional photodetector 14 by 1 to 1 response.

[0031] The scattered-light reinforcement which each element receives changes with distance. The scattered-light reinforcement  $I$  has the format of  $I=F/r^2$  also by Rayleigh scattering or Mie scattering.  $F$  is the function of the magnitude of particle, number density, and a refractive index.

[0032] Let a center line 17 be the criteria location of a laser beam 13. The perpendicular which took down the distance of the two-dimensional photodetector 14 to the center line 17 from  $r_0$  and the scattered-light source location 18 is extended from the center line 17 used as a criteria location, and distance to the two-dimensional photodetector 14 is set to  $r$ . Moreover, distance by the intersection of the perpendicular taken down from the mirror 12 and the scattered-light source location 18 to the center line 17 is set to  $L$ . The relation of  $r=r_0+L\tan\theta$  among these distance and angles is. that is, Rayleigh's equation -- be -- the equation of me -- be -- if the distance in the formula of scattered-light reinforcement is replaced by  $r$ , all scattered-light reinforcement is converted into the reinforcement on a center line 17, and can measure the reinforcement of each point of the spatial distribution of the obtained two-dimensional scattered light. Consequently, the magnitude of particle and number density can be measured now.

[0033] (Gestalt of operation of the 3rd of this invention) With the gestalt of this operation, another case where scattered-light reinforcement is amended is explained, referring to [drawing 3](#). In this example, a laser beam 13 is used as a sheet band-like in the level surface by carrying out the parallel displacement of the mirror 12. The laser light source to be used, wavelength, and oscillation frequency are the same as the case of the gestalt of the 2nd operation.

[0034] When displaying the spatial distribution of the scattered light on the data-processing machine 15, scattered-light reinforcement is amended as follows. The location of a mirror 12 is transmitted to the data-processing machine 15 from the mirror straight-line migration controller 25. In the scattered light obtained in a certain location, close comes to each element of the two-dimensional photodetector 14 by 1 to 1 response. The scattered-light reinforcement which each element receives changes with distance. The scattered-light reinforcement  $I$  has the format of  $I=F/r^2$  also by Rayleigh scattering or Mie scattering.  $F$  is the function of the magnitude of particle, number density, and a refractive index. If the distance from particle to a detector is calculated by setting it with the transit time when being based on the passing speed  $t$ : center line 17 of the  $r=r_0+vt$ : mirror 12 in order to amend the distance  $r$  of the scattered-light source location 18 and the two-dimensional photodetector 14, it is convertible into the scattered-light reinforcement on the center line 17 of [drawing 3](#). That is, the reinforcement of each point of the spatial distribution of the obtained two-dimensional scattered light can be measured now.

Consequently, the magnitude of particle and number density can be measured now.

[0035] Although the gestalten 2 and 3 of operation described the case where a laser beam was scanned



in the shape of a sheet in the level surface, it can do similarly about the case where a laser beam is scanned in the shape of a sheet within a vertical plane.

[0036] (Gestalt of operation of the 4th of this invention) Next, when presuming particle size, number density, etc. of particle from scattered-light reinforcement, in the field which can apply Rayleigh's dispersion type, it can respond by simple numerical calculation. However, if particle size becomes large, it will be necessary to use the dispersion type of me, and numerical calculation will take huge time amount. What is necessary is just to make it the field which changes the wavelength of the laser beam to be used into long wavelength, and can always use Rayleigh's dispersion type, if it becomes larger than the value of the request with the scattered-light reinforcement from particle in order to solve this. If the particle-size parameter (a radius and  $\lambda$  are the wavelength of light for  $x=2\pi a/\lambda$  and  $a$ ) of particle becomes about [ 0.7 or more ], rather than that of Mie scattering, Rayleigh-scattering light reinforcement will become large about 5%, and will begin to shift from true value. Then, wavelength of the laser beam which will be used if the particle-size parameter  $x$  becomes larger than the value which 0.7 or a request specifies in process of data processing which advances numerical calculation, such as particle size and number density, using Rayleigh's scattering cross section is made into long wavelength,  $x$  is made small, and it can make it possible to always apply Rayleigh's dispersion type.

[0037] With the gestalt of this operation, when presuming the magnitude of particle, number density, a refractive index, etc. after acquiring the reinforcement of the scattered light from particle as a two-dimensional image, the equipment configuration it enables it to perform by using the dispersion type of Rayleigh with comparatively easy numerical calculation is stated, referring to drawing 4.

[0038] The 1.064-micrometer laser beam from the YAG laser oscillator 26 is irradiated at the optical element 27 for the 2nd RF generating, and 532nm light is generated. The output side of the optical element 27 for second harmonic generations is equipped with the wavelength translator 28. This receives the signal from the data-processing machine 15, changes the light of 1.064 micrometers of fundamental waves and 532nm light of the YAG laser oscillator 26, and introduces the either into a process unit 19.

[0039] 532nm light is introduced into a process unit 19 in the beginning. Particle exists and the scattered light 21 reaches the two-dimensional photodetector 14 behind through some optical elements. Numerical calculation is performed by the data-processing machine 15, and, as for the signal from a detector 14, information, such as particle size of particle and number density, is acquired.

[0040] Into the algorithm of data processing performed with the data-processing vessel 15, if the step (S1) which makes a judgment with the desired value  $x_i$  on a particle-size parameter  $x$  like drawing 5 is put in and it becomes  $x \geq x_i$ , the wavelength exchange style 17 will be operated, the 532nm of the 2nd higher-harmonic light will be cut, and 1.064 micrometers of fundamental waves will be used (S2). On the other hand, if it becomes  $x < x_i$ , measurement will be continued as it is using the 532nm of the 2nd higher-harmonic light (S3). If it is made  $x_i = 0.7$ , the numerical calculation using Rayleigh's dispersion type can be performed in about 10% or less of precision.

[0041] By putting in this decision, data processing which suppressed the overload to the data-processing machine 15 is realizable on the conditions on which Rayleigh's dispersion type is always materialized in measurement of the scattered light.

[0042] Although this example described the example which changes that 2nd higher-harmonic light to an YAG laser, it is very good in the method of changing into long wavelength from short wavelength, whenever decision of  $x \geq x_i$  comes out from Ar-ion-laser light with two or more oscillation wavelength using a grating. Moreover, you may change to the laser oscillated on long wavelength whenever it prepares the laser light source from which the wavelength of two or more sets differs and decision of  $x \geq x_i$  comes out. Moreover, it is not necessary to fix to 0.7, and the value of  $x_i$  may change and set up a value according to a desired precision.

[0043] (Gestalt of operation of the 5th of this invention) Next, as for scattered-light reinforcement, particle changes with angles between the particle shaft orientations of arbitration, and a \*\*\*\* laser beam, when needlelike, discoid and. Then, the locus of the scattered light within a certain fixed time amount is pursued, and a particle configuration can be presumed if time amount change of scattered-light



reinforcement is analyzed. Furthermore, the magnitude of particle can be presumed more from the maximum and the minimum value of scattered-light reinforcement to a precision.

[0044] It is \*\* BE \*\* about the equipment configuration which presumes a particle configuration and amends the magnitude of particle, number density, a refractive index, etc. with the gestalt of this operation after acquiring the reinforcement of the scattered light from particle as a two-dimensional image.

[0045] The laser light source 11 consists of an YAG laser and its 2nd higher-harmonic light generator like the gestalt of operation of the 1st of drawing 1 . Dispatch frequency is 10Hz. A laser beam 13 is 532nm, operates the shape of beam orthopedically in the shape of a sheet within a vertical plane, and introduces it into a process unit 19 behind. Laser beams 13 are scattered on this interior by the particle 20 which is floating or falling. Through an interference filter 22, the scattered light 21 is the two-dimensional photodetector 14, and is measured for every s in 100ns of gate open time amount, and the spatial distribution is displayed on the data-processing machine 15. Thus, a motion of particle is acquired as a locus 23 of the scattered light which the luminescent spot followed.

[0046] When the particle which falls in the direction of a vertical is a globular form, as for the scattered-light reinforcement I, particle does not change with any sense to the direction of an incidence laser beam. On the other hand, when particle is disc-like, the scattered-light reinforcement I changes a lot by which direction particle has turned to to the direction of an incidence laser beam. When the change zeta of the luminescent spot when the locus 23 of the scattered light continued on the strength is less than 50%, particle considers a globular form and particle size is presumed there with the application of Rayleigh's dispersion type or the dispersion type of me. Moreover, when the change zeta of the continuous luminescent spot on the strength is 50% or more, particle considers it discoid and presumes the thickness of the disc of the minimum scattered-light reinforcement to particle for the area of the disc of particle from the maximum scattered-light reinforcement.

[0047] the change zeta of the luminescent spot when, as for the decision criterion of a particle configuration, the locus 23 continued on the strength -- it is not necessary to be -- the ratio of the maximum reinforcement and the minimum reinforcement -- you may set up by delta. Moreover, it is not necessary to fix to 50%, and the value of zeta may change and set up a value according to a desired precision.

[0048]

[Effect of the Invention] It is effective in the ability to be able to presume [ as having explained above, can expand the field which can apply the dispersion type of Rayleigh who it can amend a changed part of the scattered-light reinforcement by distance since this invention can presume easily the generating point, the reaching point, and the mass of particle with the particle monitoring device which used light scattering measurement and presumes the magnitude of particle, and can respond by simple numerical calculation, presume the configuration of particle, and ] the magnitude of particle to a precision.

[0049] Therefore, an amelioration indicator can be given to selection and the equipment configuration of the equipment material for reducing generating of particle.

---

[Translation done.]

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

### [Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the typical block diagram of the equipment which acquires the locus of the scattered light which is the gestalt of operation of the 1st of this invention.

[Drawing 2] It is the typical block diagram of the equipment which amends the scattered-light reinforcement which is the gestalt of operation of the 2nd of this invention.

[Drawing 3] It is the typical block diagram of the equipment which amends the scattered-light reinforcement which is the gestalt of operation of the 3rd of this invention.

[Drawing 4] It is the typical block diagram of the equipment for measuring in the dispersion type application field of Rayleigh who is the gestalt of operation of the 4th of this invention.

[Drawing 5] It is drawing showing the flow of the data-processing algorithm inserted in order to perform numerical calculation in the dispersion type application field of Rayleigh who is the gestalt of operation of the 4th of this invention.

### [Description of Notations]

11 Laser Light Source

12 Mirror

13 Laser Beam

14 Two-dimensional Photodetector

15 Data-Processing Machine

16 Mirror Roll Control Machine

17 Center Line

18 Scattered-Light Source Location

19 Process Unit

20 Particle

21 Scattered Light

22 Interference Filter

23 Locus

24 Laser Oscillation Controller

25 Mirror Straight-Line Migration Controller

26 YAG Laser Oscillator

27 Optical Element for Second Harmonic Generations

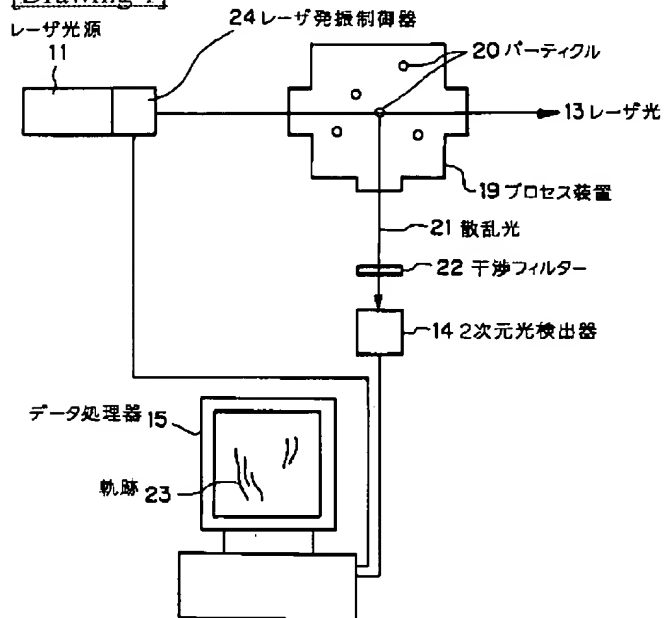
28 Wavelength Translator

---

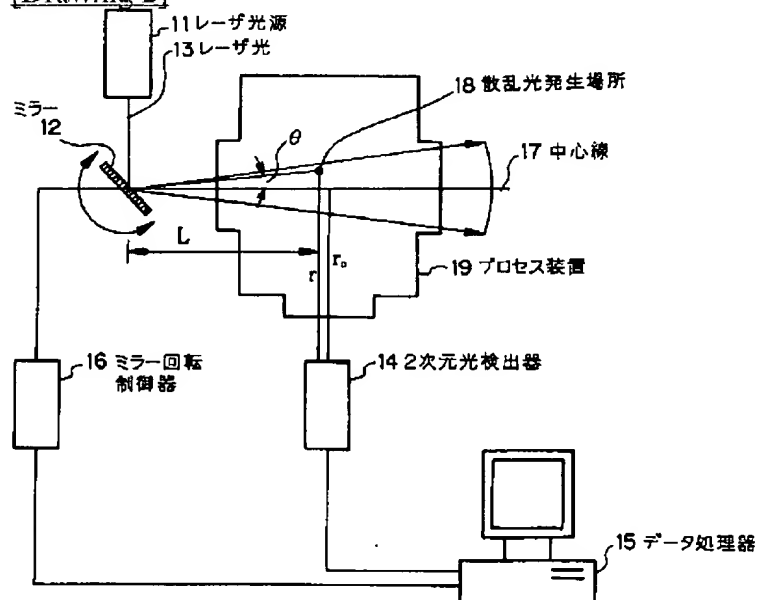
[Translation done.]

## DRAWINGS

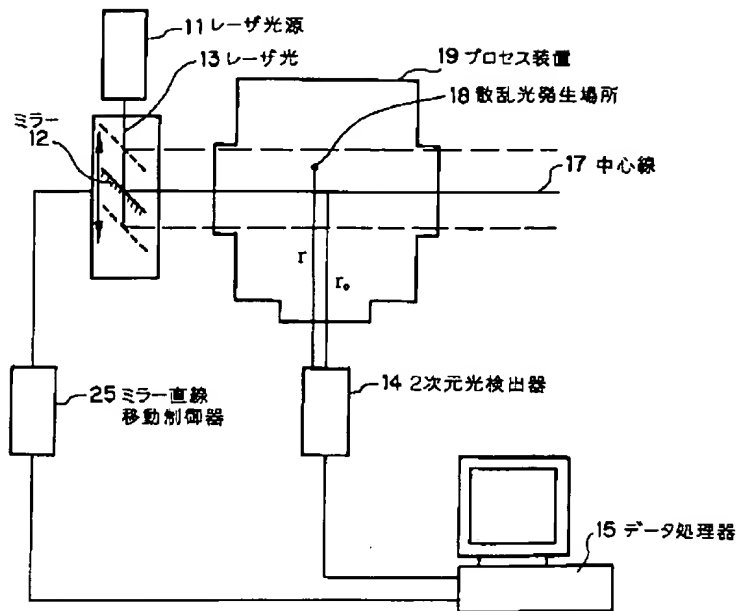
[Drawing 1]



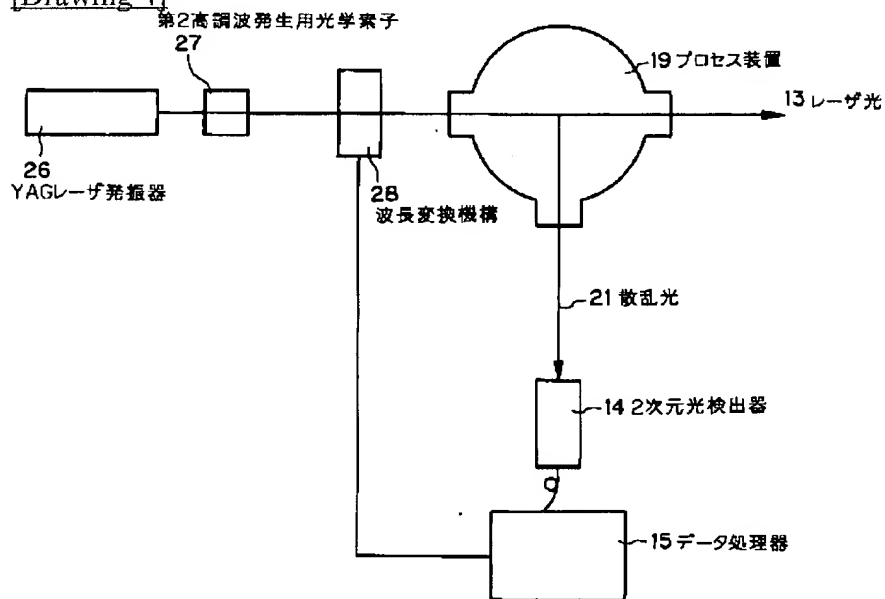
[Drawing 2]



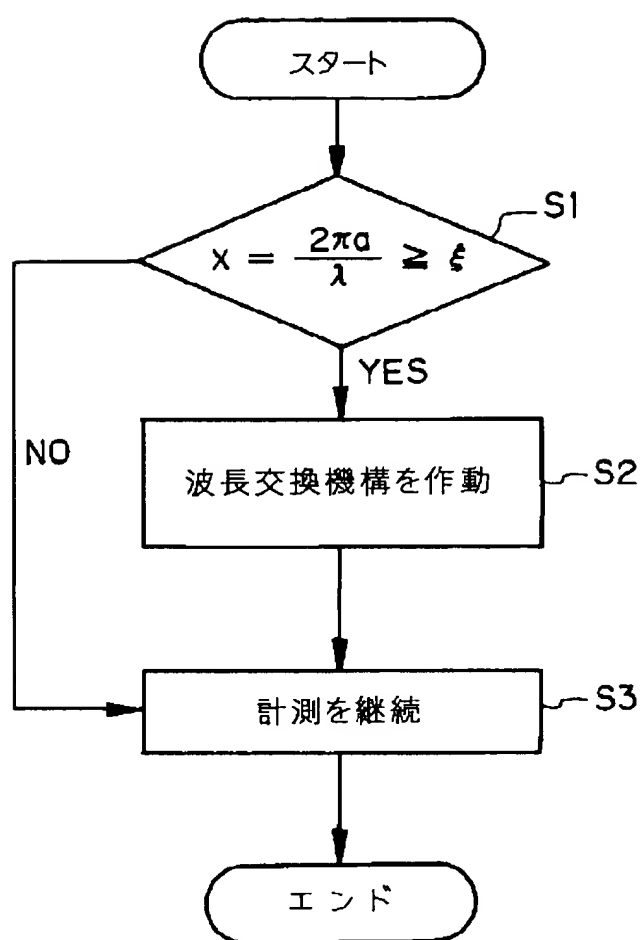
[Drawing 3]



[Drawing 4]



[Drawing 5]



---

[Translation done.]

PAT-NO: JP410232196A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 10232196 A

TITLE: PARTICLE MONITOR DEVICE

PUBN-DATE: September 2, 1998

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

ITO, NATSUKO

UESUGI, FUMIHIKO

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

NEC CORP

N/A

APPL-NO: JP09130985

APPL-DATE: May 21, 1997

INT-CL (IPC): G01N015/14, G01N015/06, G01N021/88, H01L021/66

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide the particle monitor device, which can readily estimate the generating point, the reaching point and the mass of a particle, can correct the changing amount of the scattered light caused by a distance for estimating the magnitude of the particle, can expand the region, wherein the relay scattering expression that can achieve correspondence with simple numerical computation can be applied, and can estimate the magnitude accurately by estimating the shape of the particle.

SOLUTION: The following means are provided. In the first means, when the signal strength from a light receiving device 14 for measuring scattered light exceeds the specified value, the scattered-light accepting time of the light receiving device 14 is made long, or the pulse-repetition frequency of laser light is made large, or the pulse width of the laser light 13 is made long and the movement of a particle 20 is displayed as the locus of the scattered light. In the second means, the straight line connecting the starting point and the end point of the locus is overlapped on the locus and displayed, the generating point of the particle is estimated by extending the straight line exceeding the starting point, the reaching point of the particle is estimated by extending the straight line exceeding the end point and the mass of the particle is estimated by dividing the length of the projected image of the straight line in the vertical direction by the scattered-light accepting time.

COPYRIGHT: (C)1998JPO

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-232196

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月2日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 1 N 15/14

G 0 1 N 15/14

P

15/06

15/06

D

21/88

21/88

E

H 0 1 L 21/66

H 0 1 L 21/66

J

Z

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平9-130985

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(22) 出願日 平成9年(1997) 5月21日

(72) 発明者 伊藤 奈津子

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(31) 優先権主張番号 特願平8-335962

(32) 優先日 平8(1996)12月16日

(72) 発明者 上杉 文彦

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

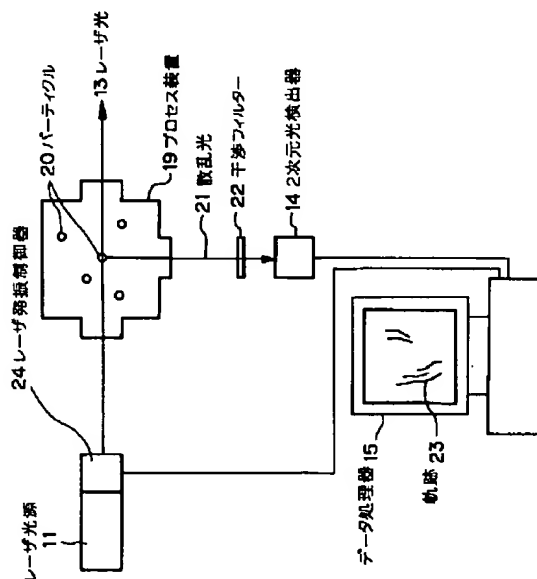
(74) 代理人 弁理士 若林 忠

(54) 【発明の名称】 パーティクルモニター装置

(57) 【要約】

【課題】 パーティクルの発生点と到達点と質量とを容易に推定できパーティクルの大きさを推定するため距離による散乱光強度の変化分を補正でき単純な数値計算で対応できるレーリーの散乱式を適用できる領域を拡大できパーティクルの形状を推定し大きさを精密に推定できるパーティクルモニター装置を提供する。

【解決手段】 散乱光を計測する受光器14からの信号強度が所定の値を越すと、受光器の散乱光取り込み時間を長くし又はレーザ光13のパルス繰り返し周波数を大きくし又はレーザ光のパルス幅を長くし、パーティクル20の動きを散乱光の軌跡として表示する手段と、軌跡の始点と終点を結ぶ直線を軌跡に重ねて表示し直線を始点を越えて延長してパーティクルの発生点を推定し、直線を終点を越えて延長してパーティクルの到達点を推定し、直線を鉛直方向に射影した長さを散乱光取り込み時間で除してパーティクルの質量を推定する手段とを有する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 プロセス装置にレーザ光を導入する手段とパーティクルからの散乱光を計測する手段とを有するパーティクルモニター装置において、

前記散乱光を計測する受光器からの信号強度が所定の値を越すと、前記受光器の前記散乱光取り込み時間を長くする、又は、前記レーザ光のパルス繰り返し周波数を大きくする、又は、前記レーザ光のパルス幅を長くすることにより、前記パーティクルの動きを前記散乱光の軌跡として表示する手段と、

前記軌跡の始点と終点を結ぶ直線を前記軌跡に重ねて表示し、前記直線を前記始点を越えて延長して前記パーティクルの発生点を推定し、前記直線を前記終点を越えて延長して前記パーティクルの到達点を推定し、前記直線を鉛直方向に射影した長さを前記散乱光取り込み時間で除して前記パーティクルの質量を推定する手段とを、有することを特徴とするパーティクルモニター装置。

【請求項2】 プロセス装置にレーザ光を導入する手段とパーティクルからの散乱光を計測する手段とを有するパーティクルモニター装置において、

レーザ光源の前にミラーを配設し、該ミラーを所定の回転角度の範囲内で回転往復運動させて、前記レーザ光をウエハ表面上の空間を水平面内又は垂直面内で扇状に走査する手段と、

前記ミラーの回転角をミラー回転制御器からデータ処理器へ転送し、前記回転角で得られる前記散乱光は前記受光器の各素子に1対1対応で入る手段と、

前記レーザ光の基準位置である中心線から前記受光器までの距離と、前記散乱光発生点から前記中心線へ降ろした垂線を延長した前記受光器までの距離と、前記ミラーと前記散乱光発生点から前記中心線へ降ろした垂線との交点から前記ミラーまでの距離と、前記ミラーの回転角との関係式により、前記散乱光強度を全て前記中心線上での強度に換算する手段とを、有することを特徴とするパーティクルモニター装置。

【請求項3】 プロセス装置にレーザ光を導入する手段とパーティクルからの散乱光を計測する手段とを有するパーティクルモニター装置において、

レーザ光源の前にミラーを配設し、該ミラーを平行移動させることによって、前記レーザ光をウエハ表面上の空間を水平面内又は垂直面内で帯状のシートに走査する手段と、

前記ミラーの位置をミラー直線移動制御器からデータ処理器へ転送し、前記位置で得られる前記散乱光は前記受光器の各素子に1対1対応で入る手段と、

前記レーザ光の基準位置である中心線から前記受光器までの距離と、前記散乱光発生点から前記中心線へ降ろした垂線を延長した前記受光器までの距離と、前記ミラーの移動速度と、前記中心線を基準にしたときの前記ミラーの移動時間との関係式により、前記散乱光強度を全て

前記中心線上での強度に換算する手段とを、有することを特徴とするパーティクルモニター装置。

【請求項4】 プロセス装置にレーザ光を導入する手段とパーティクルからの散乱光を計測する手段とを有するパーティクルモニター装置において、

前記散乱光強度から前記パーティクルの大きさ又は数密度又は屈折率を推定する手段と、

前記パーティクルの大きさと前記レーザ光の波長で決まる粒径パラメータを算出する手段と、

10 前記粒径パラメータが所定の値を越えると、前記レーザ光の波長を長波長に変えてレーザの散乱式を適用できる範囲を拡大する手段とを、有することを特徴とするパーティクルモニター装置。

【請求項5】 プロセス装置にレーザ光を導入する手段とパーティクルからの散乱光を計測する手段とを有するパーティクルモニター装置において、

前記レーザ光をパルス状に照射し、前記散乱光を計測する受光器の前記散乱光取り込み時間を数〜数十パルス分として、落下するパーティクルによる前記散乱光を軌跡、あるいは点の連続として表示する手段と、

20 所定時間内での前記散乱光の軌跡を追跡し、散乱光強度の時間変化または散乱光強度の最大値と最小値との比を解析して前記パーティクルの形状を推定する手段とを有し、

前記パーティクルの形状を推定する手段は、前記散乱光強度時間変化または散乱光強度の最大値と最小値との比が所定の値より小さい場合は、前記パーティクルの形状を球形と推定し、前記散乱光強度時間変化または散乱光強度の最大値と最小値との比が所定の値より大きい場合は、前記パーティクルの形状を円盤状と推定し、

30 前記パーティクルの形状が円盤状と推定された場合は、最大散乱光強度から前記パーティクルの円盤の面積を、最小散乱光強度から前記パーティクルの円盤の厚さを推定する手段とを有することを特徴とするパーティクルモニター装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】プロセス装置から剥離するパーティクルまたは、プロセス中に発生、成長して落下するパーティクルを光散乱法で *in-situ* (その場)、リアルタイムで計測するパーティクルモニター装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】LSIの製造工程中にプロセス装置内で発生するパーティクルは、歩留まりや装置の稼働率を低減させる大きな原因となっている。これらの低減を未然に防止するために、パーティクルの発生状況をモニターする装置が開発されている。

【0003】これらのものはレーザ光源と光検出器からなり、プロセス装置の排気系に挿入するタイプ、

またはプロセス装置の雰囲気吸引するタイプのものがある。いずれも、サンプリングされた被測定流体をレーザ光ビームが存在する空間中を通過させて、パーティクルが通過するたびに発生する散乱光の強度と発生数を計数するものである。その従来例として特開平4-297852号公報、特開平3-116944号公報、特開昭63-11838号公報、特開昭62-37160号公報、特開平5-206235号公報、特開平5-206236号公報、特開平7-12707号公報、特開平5-288669号公報の開示されたものを挙げることができる。

【0004】これらのサンプリングした被測定流体中のパーティクルを測定する方法では、パーティクルの発生量と歩留まりや装置稼働率との相関をとりにくいという問題がある。これを解決するために、装置内で発生し浮遊するパーティクルをin-situ(その場)・リアルタイムで計測する試みが行われている。

【0005】これはプロセス装置にレーザ光を導入するための窓と散乱光を計測するための窓を取り付け、パーティクルによって散乱されたレーザ光をCCDカメラでビデオテープに収録し、それを再生して散乱光の発生時刻、強度変化を知り、その結果からパーティクルの発生を知るものである。

【0006】これらの従来例として、セルビン(Gary S. Selwyn)によってジャーナル オブ バキューム サイエンス アンド テクノロジー誌の第B9巻(1991年)の3487頁から3492頁に記載されている論文、またジャーナル オブ バキューム サイエンス アンド テクノロジー誌の第A14巻(1996年)の649頁から654頁に記載されている論文がある。さらに、渡辺らによるアプライド フィジクス レターズ誌(Applied Physics Letters)の第61巻(1992年)の1510頁から1512頁に記載されている論文、および白谷らによるジャーナル オブ バキューム サイエンス アンド テクノロジー誌の第A14巻(1996年)の603頁から607頁に記載されている論文がある。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上述した従来の技術は、以下の問題点がある。

【0008】従来例として取り上げた特開平4-297852号公報、特開平3-116944号公報、特開昭63-11838号公報、特開昭62-37160号公報、特開平5-206235号公報、特開平5-206236号公報、特開平7-12707号公報、特開平5-288669号公報に開示されたものでは、サンプリングした被測定流体中のパーティクルを測定する方法について述べられている。この方法はサンプリングという操作を行った後に散乱光を計測するために、パーティクルの発生場所を特定することが困難である。そのため、

パーティクルの発生量と歩留まりや装置稼働率との相関をとりにくいという問題があり、パーティクルの発生源を特定できない。

【0009】また、セルビン(Gary S. Selwyn)によってジャーナル オブ バキューム サイエンス アンド テクノロジー誌の第B9巻(1991年)の3487頁から3492頁に記載されている論文、またジャーナル オブ バキューム サイエンス アンド テクノロジー誌の第A14巻(1996年)の649頁から654頁に記載されている論文、および、渡辺らによるアプライドフィジクス レターズ誌(Applied Physics Letters)の第61巻(1992年)の1510頁から1512頁に記載されている論文、および白谷らによるジャーナル オブ バキューム サイエンス アンド テクノロジー誌の第A14巻(1996年)の603頁から607頁に記載されている論文では、プロセス装置内で浮遊しているパーティクルをレーザ光散乱法で検出し、パーティクルの空間分布やその時間変化を計測している。しかし、観測しているパーティクルがウエハに不良を誘起するの、不良を引き起こすならそのパーティクルがどこで発生し、どのような経路でウエハに到達するかを知ることが困難である。そのため、製品ウエハにパターン不良を引き起こすパーティクルが発生しても、その発生場所を特定できず、装置の改良部分や部品を決められないままに、装置のクリーニングを繰り返すことで対処していた。つまり、パーティクルの発生を抑える指針を得られず、装置のクリーニングや立ち上げ時間などによる稼働率の低下を改善できなかった。

【0010】また、パーティクルの空間分布の測定では、レーザ光を空間的に走査するか、空間的に広がりを持たせて、レーザ光源の中に存在するパーティクルを検出する方法を用いる。この場合、個々の散乱光の発生場所と検出器までの距離は異なり、検出器に到達する散乱光強度は、散乱光の発生場所から検出器までの距離の2乗に反比例する。つまり、散乱光の強度からパーティクルの大きさを推定するには、距離による散乱光強度の変化分を補正する必要がある。しかし、これまではこのような補正は行われていなかった。

【0011】さらに、散乱光の強度からパーティクルの大きさを推定するには、形状を真球と仮定して計算されていた。しかし、実際にLSI製造工程中に発生するパーティクルは、薄片状や針状が多いことが知られている。このような形状のパーティクルでは、入射したレーザ光に対する空間的な位置により散乱光強度が大きく変化する。従って、これまでのパーティクルの大きさの推定方法では、パーティクルの粒径や粒径分布、数密度に関し誤差が大きかった。

【0012】また、従来の光散乱法を用いるパーティクルの空間分布計測では、ある所望の偏光状態にある光を

プロセス装置内に導入し、浮遊しているパーティクルに散乱された光の偏光状態の変化を測定していた。使用するレーザ光源からの波長は1種類である。被測定対象のパーティクルが照射光の波長よりも小さいときにはレーリー散乱断面積で散乱光強度を予測し、大きくなるとミー散乱断面積を用いる。ミー散乱断面積は厳密な解を与えるが、その表式が複雑で数値計算に時間がかかり、リアルタイムでの散乱光強度測定結果からパーティクルの粒径や数密度に関する情報を得ることが困難である。

【0013】上記従来技術の問題点に鑑み、本発明の目的は、パーティクルの発生点と到達点と質量とを容易に推定でき、パーティクルの大きさを推定するため距離による散乱光強度の変化分を補正でき、単純な数値計算で対応できるレーリーの散乱式を適用できる領域を拡大でき、パーティクルの形状を推定しパーティクルの大きさを精密に推定できるパーティクルモニター装置を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明のパーティクルモニター装置は、プロセス装置にレーザ光を導入する手段とパーティクルからの散乱光を計測する手段とを有するパーティクルモニター装置において、散乱光を計測する受光器からの信号強度が所定の値を越すと、受光器の散乱光取り込み時間を長くする、又は、レーザ光のパルス繰り返し周波数を大きくする、又は、レーザ光のパルス幅を長くすることにより、パーティクルの動きを散乱光の軌跡として表示する手段と、軌跡の始点と終点を結ぶ直線を軌跡に重ねて表示し、直線を始点を越えて延長してパーティクルの発生点を推定し、直線を終点を越えて延長してパーティクルの到達点を推定し、直線を鉛直方向に射影した長さを散乱光取り込み時間で除してパーティクルの質量を推定する手段とを、有する。

【0015】また、プロセス装置にレーザ光を導入する手段とパーティクルからの散乱光を計測する手段とを有するパーティクルモニター装置において、レーザ光源の前にミラーを配設し、ミラーを所定の回転角度の範囲内で回転往復運動させて、レーザ光をウエハ表面上の空間を水平面内又は垂直面内で扇状に走査する手段と、ミラーの回転角をミラー回転制御器からデータ処理器へ転送し、回転角で得られる散乱光は受光器の各素子に1対1対応で入る手段と、レーザ光の基準位置である中心線から受光器までの距離と、散乱光発生点から中心線へ降ろした垂線を延長した受光器までの距離と、ミラーと散乱光発生点から中心線へ降ろした垂線との交点からミラーまでの距離と、ミラーの回転角との関係式により、散乱光強度を全て中心線上での強度に換算する手段とを、有してもよい。

【0016】また、プロセス装置にレーザ光を導入する手段とパーティクルからの散乱光を計測する手段とを有するパーティクルモニター装置において、レーザ光源の

前にミラーを配設し、ミラーを平行移動させることによって、レーザ光をウエハ表面上の空間を水平面内又は垂直面内で帯状のシートに走査する手段と、ミラーの位置をミラー直線移動制御器からデータ処理器へ転送し、位置で得られる散乱光は受光器の各素子に1対1対応で入る手段と、レーザ光の基準位置である中心線から受光器までの距離と、散乱光発生点から中心線へ降ろした垂線を延長した受光器までの距離と、ミラーの移動速度と、中心線を基準にしたときのミラーの移動時間との関係式により、散乱光強度を全て中心線上での強度に換算する手段とを、有してもよい。

【0017】また、プロセス装置にレーザ光を導入する手段とパーティクルからの散乱光を計測する手段とを有するパーティクルモニター装置において、散乱光強度からパーティクルの大きさ又は数密度又は屈折率を推定する手段と、パーティクルの大きさとレーザ光の波長で決まる粒径パラメータを算出する手段と、粒径パラメータが所定の値を越えると、レーザ光の波長を長波長に変えてレーリーの散乱式を適用できる範囲を拡大する手段とを、有してもよい。

【0018】また、プロセス装置にレーザ光を導入する手段とパーティクルからの散乱光を計測する手段とを有するパーティクルモニター装置において、レーザ光をパルス状に照射し、散乱光を計測する受光器の散乱光取り込み時間を数〜数十パルス分として、落下するパーティクルによる散乱光を軌跡、あるいは点の連続として表示する手段と、所定時間内での散乱光の軌跡を追跡し、散乱光強度の時間変化または散乱光強度の最大値と最小値との比を解析してパーティクルの形状を推定する手段とを有し、パーティクルの形状を推定する手段は、散乱光強度時間変化または散乱光強度の最大値と最小値との比が所定の値より小さい場合は、パーティクルの形状を球形と推定し、散乱光強度時間変化または散乱光強度の最大値と最小値との比が所定の値より大きい場合は、パーティクルの形状を円盤状と推定し、パーティクルの形状が円盤状と推定された場合は、最大散乱光強度からパーティクルの円盤の面積を、最小散乱光強度からパーティクルの円盤の厚さを推定する手段とを有してもよい。

【0019】即ち、本発明のパーティクルモニター装置は、パーティクルの発生点と到達点と質量とを容易に推定でき、パーティクルの大きさを推定するため距離による散乱光強度の変化分を補正でき、単純な数値計算で対応できるレーリーの散乱式を適用できる領域を拡大でき、パーティクルの形状を推定しパーティクルの大きさを精密に推定できる。

【0020】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0021】（本発明の第1の実施の形態）剥離パーティクルの発生源とウエハへの到達点を推定するには、あ

る瞬間のパーティクルからの散乱光を計測するだけでは不十分であり、ある一定時間内での散乱光の軌跡を追跡することが必要になる。これを実現するには、パーティクルによる散乱光の強度が所定のそれを越した場合に、散乱光受光器の信号取り込み時間を長くする、あるいは、パルスレーザの繰返し周波数を高める、または、CWレーザ(Continuous Wave レーザ、連続発振レーザ)のチョッピング周波数を低くして散乱光の2次元分布画像を取得すればよい。

【0022】この手段を用いることによって、落下しつつあるパーティクルからの散乱光の軌跡を画像上に表示させることができ、軌跡の始点と終点から発生場所と到達場所を推定できる。さらに、軌跡の長さを計測時間幅で除することで質量を推定できる。

【0023】パーティクルの発生源とウエハへの到達点を推定する場合について、図1を参照しながら述べる。

【0024】レーザ光源11はYAGレーザとその第2高調波光発生器からなっている。発信周波数は10Hzである。レーザ光13は532nmであり、そのビーム形状を鉛直面内でシート状に整形し後にプロセス装置19に導入する。レーザ光13は、この内部に浮遊もしくは落下しつつあるパーティクル20によって散乱される。散乱光21は干渉フィルタ22を経て散乱光受光器である2次元光検出器14で、ゲート開時間100nsで5sごとに計測され、その空間分布がデータ処理器15に表示される。

【0025】2次元光検出器14で、予め決めておいたある一定の値よりも大きな散乱光を受光しているか否かをデータ処理器15で判断して、大きな値であると判断した場合には2次元光検出器14での散乱光取り込み時間を、ゲート開時間を200nsに長くすることによって、パーティクルの動きを散乱光の軌跡23として取得する。ゲート開時間を長くする代わりに計測時間間隔を1sごとにすることによっても同等の効果をえられる。

【0026】ゲート開時間や計測時間間隔を変えて散乱光取り込み時間を長くする代わりに、レーザ発振制御器24を動作させ、レーザの繰返し周波数を10Hzから1kHzに高くして散乱光の発生回数を増やすことによっても同様な効果を期待できる。CWレーザの場合は、レーザ発振制御器24としてレーザ光13をチョッピングするチョッパーを使用する。チョッパーの回転数を低くしてチョッピングされて形成されたパルス光の時間幅を長くすることによっても同様の効果を期待できる。

【0027】こうしてデータ処理器15の表示器に散乱光軌跡23として表示することが可能になる。この軌跡23の始点と終点を結ぶ直線を軌跡23に重ねて表示し、この直線を始点を越えて延長させるとパーティクルの発生源を推定できる。逆に、直線を終点を越えて延長すると、パーティクルの到達点を推定できる。さらに、

直線を鉛直方向に射影した長さを散乱光取り込み時間で除するとパーティクルの質量を推定できる。

【0028】このように、散乱光の軌跡を計測することによって、パーティクルの発生源とその到達点、およびその質量を推定でき、パーティクルの発生を低減させるための装置材料の選定や装置形状に改良指針を与えることが出来る。

【0029】(本発明の第2の実施の形態)また、散乱光の強度はパーティクルの大きさを反映する。一方で、散乱光強度は散乱体と計測点の距離の2乗に反比例する。つまり、同じ大きさのパーティクルからの散乱光は同じ強度の散乱光を発生するが、計測点との距離が異なれば計測される散乱光強度が変化してしまう。したがって、散乱光強度の2次元画像からパーティクルの大きさを推定するには、散乱光強度を距離で規格化することが必要になる。これを実現する方法を図2を用いて説明する。

【0030】レーザ光源11はYAGレーザとその第2高調波光発生器からなっている。発振周波数は10kHzである。レーザ光13は532nmである。ミラー12でレーザ光13を反射してプロセス装置19の内部に導入する。ミラー12を中心線17の左右に振る。最大角度は10°である。このミラー12をある回転角度の範囲内で回転往復運動させて、レーザ光13をウエハ表面上の空間を水平面内で扇状に走査する2次元光検出器14が見込む領域にパーティクルが存在すると、それによる散乱光の空間分布が得られる。散乱光の空間分布をデータ処理器15に表示させるときに、次のようにして散乱光強度を補正する。ミラー12の回転角 $\theta$ をミラー回転制御器16からデータ処理器15へ転送する。ある回転角 $\theta$ で得られる散乱光は2次元光検出器14の各素子に1対1対応で入ってくる。

【0031】各素子が受ける散乱光強度は距離によって変わる。散乱光強度 $I$ は、レーリー散乱でもミー散乱でも

$$I = F / r^2$$

の形式を持っている。Fはパーティクルの大きさ、数密度、屈折率の関数である。

【0032】中心線17をレーザ光13の基準位置とする。基準位置となる中心線17から2次元光検出器14の距離を $r_0$ 、散乱光発生場所18から中心線17へ降ろした垂線を延長して2次元光検出器14までの距離を $r$ とする。またミラー12と散乱光発生場所18から中心線17へ降ろした垂線の交点までの距離を $L$ とする。これらの距離と角度の間には

$$r = r_0 + L \cdot \tan \theta$$

の関係がある。つまり、レーリーの式であれミーの式であれ、散乱光強度の計算式の中の距離を $r$ で置き換えると、散乱光強度は全て中心線17上での強度に換算され、得られた2次元の散乱光の空間分布の各点の強度を

比較できるようになる。その結果、パーティクルの大きさ、数密度を比較できるようになる。

【0033】(本発明の第3の実施の形態)本実施の形態では散乱光強度を補正する別の場合を、図3を参照しながら説明する。この実施例ではミラー12を平行移動させることによってレーザ光13を水平面内で帯状のシートにする。使用するレーザ光源、波長、発振周波数は第2の実施の形態の場合と同じである。

【0034】散乱光の空間分布をデータ処理器15に表示させるときに、次のようにして散乱光強度を補正する。ミラー12の位置はミラー直線移動制御器25からデータ処理器15へ転送する。ある位置で得られる散乱光は2次元光検出器14の各素子に1対1対応で入ってくる。各素子が受ける散乱光強度は距離によって変わる。散乱光強度 $I$ は、レーリー散乱でもミー散乱でも  $I = F / r^2$

の形式を持っている。Fはパーティクルの大きさ、数密度、屈折率の関数である。散乱光発生場所18と2次元光検出器14との距離 $r$ を補正するには、パーティクルから検出器までの距離を

$$r = r_0 \pm vt$$

$v$ : ミラー12の移動速度

$t$ : 中心線17を基準にしたときの移動時間

とにおいて計算すれば、図3の中心線17上での散乱光強度に換算できる。つまり、得られた2次元の散乱光の空間分布の各点の強度を比較できるようになる。その結果、パーティクルの大きさ、数密度を比較できるようになる。

【0035】実施の形態2、3では水平面内でシート状にレーザ光を走査する場合について述べたが、鉛直面内でシート状にレーザ光を走査する場合についても同様に行うことができる。

【0036】(本発明の第4の実施の形態)次に、散乱光強度からパーティクルの粒径や数密度などを推定する場合、レーリーの散乱式を適用できる領域では単純な数値計算で対応できる。しかし、パーティクルサイズが大きくなるとミーの散乱式を用いることが必要になり、数値計算に膨大な時間を要する。これを解決するためには、パーティクルからの散乱光強度がある所望の値よりも大きくなったら、使用するレーザ光の波長を長波長に変えて常にレーリーの散乱式を使用できる領域にすればよい。パーティクルの粒径パラメータ( $x = 2\pi a / \lambda$ ,  $a$ は半径、 $\lambda$ は光の波長)が0.7程度以上になると、レーリー散乱光強度はミー散乱のそれよりも約5%大きくなり、真の値からずれはじめる。そこで、レーリーの散乱断面積を用いて粒径や数密度などの数値計算を進めるデータ処理の過程で、粒径パラメータ $x$ が0.7または所望の指定する値よりも大きくなったら使用するレーザ光の波長を長波長にして $x$ を小さくし、常にレーリーの散乱式を適用できるようにできる。

【0037】本実施の形態では、パーティクルからの散乱光の強度を2次元画像として取得した後に、パーティクルの大きさ、数密度、屈折率などを推定する場合に、数値計算が比較的容易なレーリーの散乱式を用いて行えるようにする装置構成について、図4を参照しながら述べる。

【0038】YAGレーザ発振器26からの1.064  $\mu\text{m}$ のレーザ光を第2高周波発生用光学素子27に照射し532 nm光を発生させる。第2高調波発生用光学素子27の出力側には、波長変換機構28を装着する。これは、データ処理器15からの信号を受け取って、YAGレーザ発振器26の基本波1.064  $\mu\text{m}$ の光と532 nm光を切り替えて、そのどちらか一方をプロセス装置19に導入する。

【0039】はじめは532 nm光をプロセス装置19に導入する。パーティクルが存在し、散乱光21が幾つかの光学素子を通して後に2次元光検出器14に到達する。検出器14からの信号はデータ処理器15で数値計算が行われ、パーティクルの粒径や数密度などの情報が得られる。

【0040】データ処理器15で実行されるデータ処理のアルゴリズムの中に、図5のような粒径パラメータ $x$ と所望の値 $\xi$ との判断をするステップ(S1)をいれ、 $x \geq \xi$ ならば、波長変換機構17を作動させて、第2高調波光532 nmをカットして基本波1.064  $\mu\text{m}$ を使用する(S2)。一方、 $x < \xi$ ならば、そのまま第2高調波光532 nmを使用して計測を続ける(S3)。 $\xi = 0.7$ にすると10%程度以下の精度でレーリーの散乱式を用いた数値計算を実行できる。

【0041】この判断を入れることによって、常に散乱光の計測をレーリーの散乱式が成立する条件で、データ処理器15への過負荷を抑えたデータ処理を実現できる。

【0042】この例では、YAGレーザとその第2高調波光を切り替える例について述べたが、複数の発振波長を持つアルゴンイオンレーザ光からグレーティングを用いて、 $x \geq \xi$ の判断が出る度に、短波長から長波長に変えていく方法をとってもよい。また、2台以上の波長の異なるレーザ光源を用意して、 $x \geq \xi$ の判断が出る度に、長波長で発振するレーザに切り替えても良い。また、 $\xi$ の値は0.7に固定する必要はなく、所望の精度に合わせて値を変えて設定しても良い。

【0043】(本発明の第5の実施の形態)次に、パーティクルが円盤状や針状であった場合、散乱光強度は、任意のパーティクル軸方向と入射レーザ光との間の角度によって異なる。そこで、ある一定時間内での散乱光の軌跡を追跡し、散乱光強度の時間変化を解析すればパーティクル形状を推定することができる。さらに、散乱光強度の最大値と最小値からパーティクルの大きさをより精密に推定できる。

11

【0044】本実施の形態では、パーティクルからの散乱光の強度を2次元画像として取得した後に、パーティクル形状を推定し、パーティクルの大きさ、数密度、屈折率などを補正する装置構成について述べる。

【0045】図1の第1の実施の形態と同様に、レーザ光源11はYAGレーザとその第2高調波光発生器からなっている。発信周波数は10Hzである。レーザ光13は532nmであり、そのビーム形状を鉛直面内でシート状に整形し後にプロセス装置19に導入する。レーザ光13は、この内部に浮遊もしくは落下しつつあるパーティクル20によって散乱される。散乱光21は干渉フィルタ22を経て2次元光検出器14で、ゲート開時間100nsで1sごとに計測され、その空間分布がデータ処理器15に表示される。このようにして、パーティクルの動きを輝点が連続した散乱光の軌跡23として取得する。

【0046】鉛直方向に落下するパーティクルが球形の場合、入射レーザ光の方向に対し、パーティクルがどんな向きでも散乱光強度Iは変化しない。一方、パーティクルが円盤状の場合、入射レーザ光の方向に対し、パーティクルがどの方向を向いているかで散乱光強度Iが大きく変化する。そこで、例えば散乱光の軌跡23の連続した輝点の強度変化とが50%未満の場合、パーティクルは球形と考え、粒径はレーリーの散乱式、あるいはミーの散乱式を適用して推定する。また、連続した輝点の強度変化とが50%以上の場合、パーティクルは円盤状と考え、最大散乱光強度からパーティクルの円盤の面積を、最小散乱光強度からパーティクルの円盤の厚さを推定する。

【0047】パーティクル形状の判断基準は、軌跡23の連続した輝点の強度変化とである必要はなく、最大強度と最小強度の比で設定してもよい。また、この値は50%に固定する必要はなく、所望の精度に合わせて値を変えて設定しても良い。

【0048】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、光散乱法を用いたパーティクルモニター装置によって、パーティクルの発生点と到達点と質量とを容易に推定でき、パーティクルの大きさを推定するため距離による散乱光強度

12

の変化分を補正でき、単純な数値計算で対応できるレーリーの散乱式を適用できる領域を拡大でき、パーティクルの形状を推定しパーティクルの大きさを精密に推定できるという効果がある。

【0049】従って、パーティクルの発生を低減させるための装置材料の選定や装置形状に改良指針を与えることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態である散乱光の軌跡を取得する装置の模式的構成図である。

【図2】本発明の第2の実施の形態である散乱光強度を補正する装置の模式的構成図である。

【図3】本発明の第3の実施の形態である散乱光強度を補正する装置の模式的構成図である。

【図4】本発明の第4の実施の形態であるレーリーの散乱式適用領域で計測するための装置の模式的構成図である。

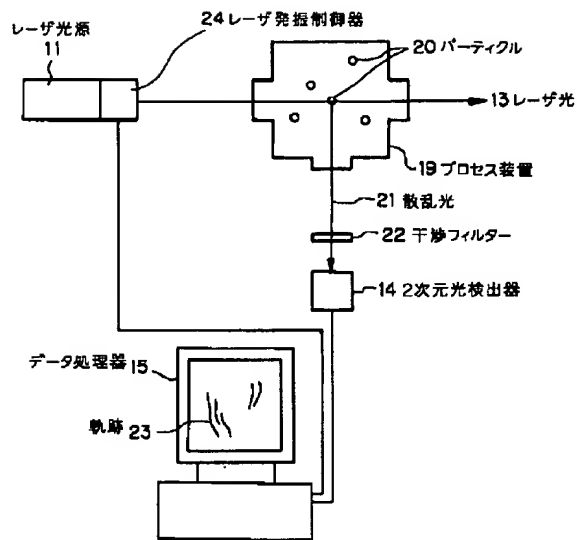
【図5】本発明の第4の実施の形態であるレーリーの散乱式適用領域で数値計算を実行するために挿入するデータ処理アルゴリズムのフローを示す図である。

【符号の説明】

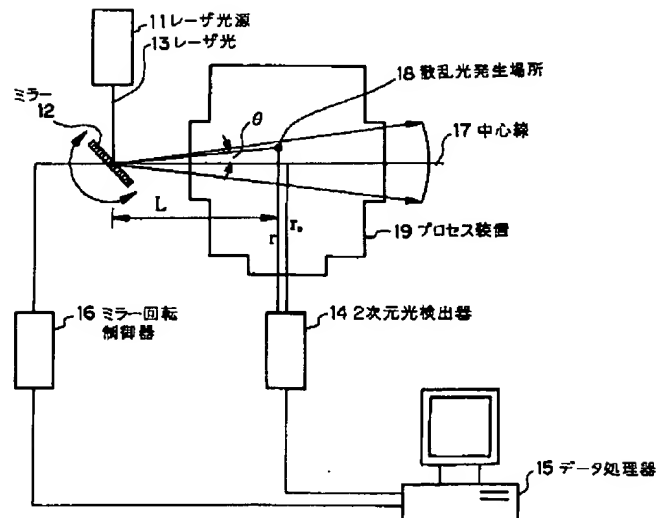
- 11 レーザ光源
- 12 ミラー
- 13 レーザ光
- 14 2次元光検出器
- 15 データ処理器
- 16 ミラー回転制御器
- 17 中心線
- 18 散乱光発生場所
- 19 プロセス装置
- 20 パーティクル
- 21 散乱光
- 22 干渉フィルター
- 23 軌跡
- 24 レーザ発振制御器
- 25 ミラー直線移動制御器
- 26 YAGレーザ発振器
- 27 第2高調波発生用光学素子
- 28 波長変換機構



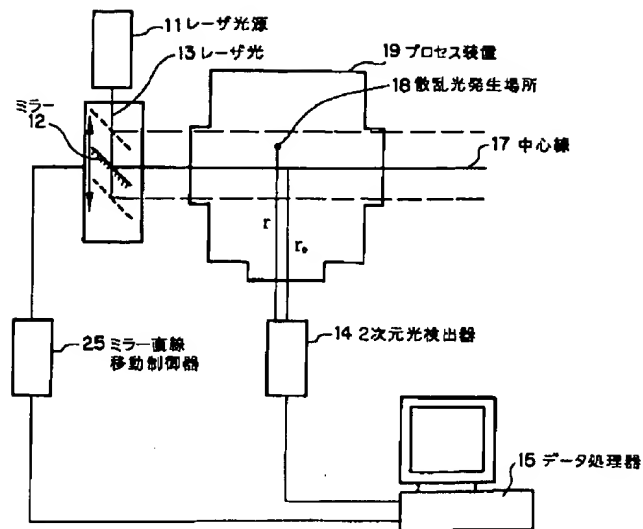
【図1】



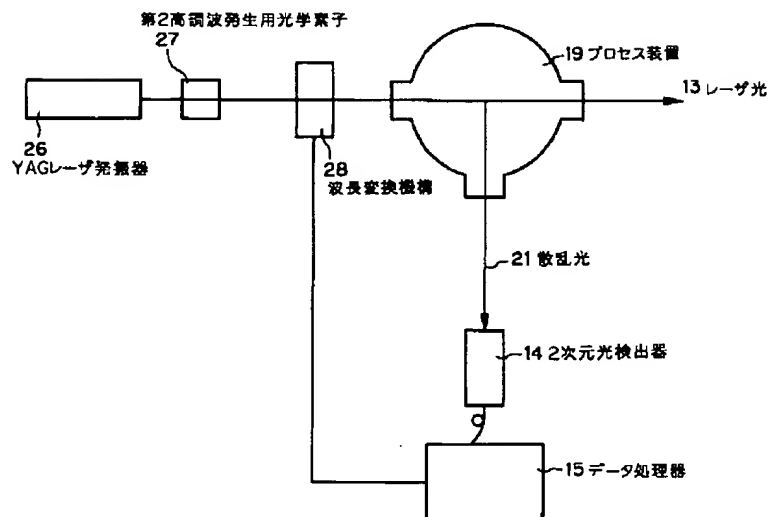
【図2】



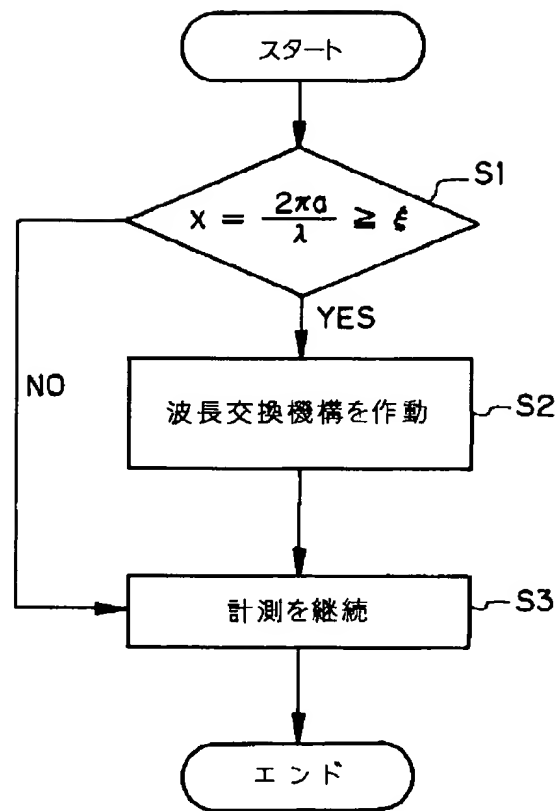
【図3】



【図4】



【図5】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>  
H01L 21/66

識別記号

FI  
H01L 21/66

L